

Dinámica atmosférica y calidad del aire en A Coruña

Antonio Miragaya Veras
Universidad de Santiago de Compostela

RESUMEN. La contaminación del aire es uno de los factores más importantes del medio ambiente urbano. En este trabajo se analiza el caso de la ciudad de A Coruña (Galicia, España), en donde las actividades humanas y los factores geográficos y meteorológicos, como las diferencias topográficas o el viento, son los principales responsables.

Palabras clave: A Coruña, contaminación atmosférica, actividad humana, topografía, dinámica atmosférica

ABSTRACT. Air pollution is one of the most important factors in the urban environment. This work analyses the case of the A Coruña city (Galicia, Spain), where human activities and geographical and meteorological factors, like topographic differences or wind, are the principal responsibility.

Keywords: A Coruña, air pollution, human activity, topography, atmospheric dynamics

1. Introducción

La calidad del aire conforma el medio ambiente urbano junto con las variaciones climáticas inducidas por la influencia antrópica, en contraposición con el de las áreas rurales y naturales, menos humanizadas. Es por ello elemento de sumo interés para su análisis de cara a una gestión medioambiental y de ordenación del territorio, económica en definitiva, lo más correcta posible, preocupación ésta de la que son testigos numerosos estudios realizados hasta la fecha al nivel internacional y nacional: Bland (1974); Berlincourt (1991); Ascaso (1969); López y Fernández (1981); Fernández y Galán (1993); o Fernández (2001).

Recibido: 4 de abril de 2006.
Aceptado: 31 de julio de 2006.

La calidad del aire, entendida como el nivel de inmisión alcanzado por una serie de sustancias contaminantes en relación con los límites legalmente establecidos al respecto, depende de tres factores:

a) Primero, la existencia de unos focos emisores que, en función del tipo de actividad y de la intensidad o frecuencia de la misma, inciden en la posible emisión a la atmósfera, en mayor o menor cantidad, de una serie de sustancias.

b) Segundo, la dinámica atmosférica regional en la que se encuadra el área de estudio que, en continua y cambiante actividad, se encarga del transporte de las sustancias contaminantes desde los focos emisores hacia un lugar u otro, cuando no en el estancamiento sobre el foco emisor. Así, la intensidad y dirección del viento, el gradiente térmico vertical o el nivel de presión, son aspectos a tener en cuenta en el transporte y concentración de sustancias, de tal modo que la mayor intensidad de los dos primeros beneficia el transporte, mientras que el aumento de la última posibilita el estancamiento.

c) Tercero, los factores geográficos locales, pues dependiendo de los distintos niveles de rugosidad de la superficie, ya sea de origen antrópico (edificios –altura–, etc.) o natural (topografía o masas vegetales), pueden obstaculizar el paso de las sustancias contaminantes arrastradas por el flujo atmosférico. En este sentido, es de gran importancia la altura alcanzada por los efluentes, puesto que si las chimeneas emisoras superan en altitud al relieve circundante, se propicia la expansión de los contaminantes en función del viento, en tanto que si ocurre lo contrario, se provoca el estancamiento de aquéllos sobre el lugar de emisión.

2. Metodología

Este trabajo está basado en la tesis doctoral del autor, que fue defendida el 17 de octubre de 2003 en el Departamento de Xeografía de la Universidade de Santiago de Compostela. Su título es *Medio ambiente urbano en A Coruña: el papel de la dinámica atmosférica y de los factores locales*, y en ella se estudian, al nivel del palio urbano, las variaciones climáticas (temperaturas, humedad y viento) existentes en el espacio urbano herculino, y entre éste y su periferia rururbana más inmediata. Las causas de ello, así como el otro aspecto del ambiente aéreo, la calidad del aire o niveles de inmisión de una serie de contaminantes, son también analizados.

El presente artículo tiene el objetivo general de reflejar el grado de calidad del aire en la ciudad de A Coruña. Más en particular, interesa averiguar qué contaminantes alcanzan unos mayores niveles de inmisión en la ciudad y su periferia más inmediata, conocer en qué grado pueden llegar a superarse los niveles máximos que al respecto se permiten legalmente, y estudiar el comportamiento de los contaminantes a lo largo del tiempo y del espacio en función de la dinámica atmosférica, con el fin de determinar cuales son las áreas más contaminadas, así como los momentos más críticos.

En la investigación, y siguiendo la línea de autores como Marzol (1987), Clavero (1990), López Bonillo (1992), Fernández y Galán (1995), o Fernández García (2001), se parte de la asociación entre los distintos niveles de inmisión de los contaminantes y una serie de situaciones sinópticas previamente clasificadas que, como se ha dicho, son uno de los factores influyentes esenciales en la concentración de aquéllos. El tipo de clasificación empleada ha sido manual, utilizándose como criterios principales la distinción invierno-verano, la componente y el tipo de masa de aire, si bien interesa aquí ante todo el criterio de la dirección del viento, como principal protagonista en el transporte de sustancias. Para ello se han tenido en cuenta los cuatro cuadrantes.

El trabajo tiene su base en los datos diarios, mensuales y anuales, sobre diversos contaminantes para el período 1993-97, y para el caso de tres estaciones de la red de Sanidade de la provincia de A Coruña, las cuales reflejan distintas tipologías y densidades de ocupación humana del suelo. Dichos datos han sido facilitados por la Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia. La delegación de ésta en A Coruña y el trabajo bibliográfico han aportado el aspecto legislativo. Dos de las estaciones son urbanas: una de ellas es de carácter residencial denso y con tráfico intenso, cercana al centro de la ciudad (Calle Gregorio Hernández), y la otra, más periférica (Elviña), es de tipo residencial laxo y con tráfico moderado. La tercera estación, Meicende- A Pastoriza (Arteixo), es un área rural con tráfico ligero. En ésta, los datos poseen bastantes lagunas, con lo que la fiabilidad de las conclusiones a ella referentes es reducida. Aún así se ha optado por su inclusión en el estudio por el interés que supone el establecer la comparación campo-ciudad.

Se incluyen en el artículo los niveles de correlación entre los niveles de inmisión de contaminantes y distintas variables meteorológicas: viento, habiéndose tomado la velocidad máxima diaria; presión, tomándose como referencia la isobara más próxima al área de estudio en los boletines diarios del INM; gradiente térmico vertical, calculado en °C/100 m en esta última fuente a partir de las topografías barométricas de superficie y 500 hPa; y componente, haciéndose corresponder los valores 1, 2, 3 y 4, respectivamente, con los cuadrantes NE, SE, SO y NO.

El número de muestras tomadas en la realización de estas correlaciones ha sido de 75 por cada contaminante, correspondiéndose 25 de ellos con los valores de inmisión mayores, otros 25 con los menores, y otros 25 con centrales. Todo ello se ha referido únicamente a la estación urbana densa, dado que no se trata en este caso de establecer una comparación entre estaciones.

No se han realizado las correlaciones oportunas entre los niveles de inmisión y los factores geográficos, al tratarse sólo de tres estaciones las analizadas y ser los datos únicos, es decir, que se trate de un día u otro, la altitud o las densidades residencial y constructiva, son las mismas. Se trata entonces, en este caso, de acercarse a este tipo de factores a modo de observación.

3. Factores condicionantes de la calidad del aire en A Coruña

3.1 Fuentes de emisión

Los focos potencialmente emisores de sustancias contaminantes en A Coruña son tres: el tráfico rodado, las actividades industriales y la actividad portuaria.

El tráfico rodado es el responsable de las mayores cantidades emitidas de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (C_xH_y) y óxidos de nitrógeno (NO_x), y la ciudad herculina es la que cuenta con el mayor parque móvil de Galicia, en torno a los 100.000 vehículos, en una ciudad que se mueve sobre los 250.000 habitantes concentrados en un municipio de 36,8 km², de los que el casco urbano viene a ocupar aproximadamente la mitad. Estos datos dan buena idea de la magnitud del problema: en la Calle Linares Rivas, en el istmo, la intensidad media diaria del tráfico supera los 120.000 vehículos (Díaz Fernández, 1997).

Por lo que se refiere a las áreas industriales, en la periferia más inmediata a la ciudad, por el suroeste, se ubican varios polígonos (A Grela-Bens, PO.CO.MA.CO, Sabón), en los que destaca la función comercial, pero donde se encuentran también industrias químicas (plástico), metálicas (aluminio), alimenticias y energéticas. Mención especial merecen estas últimas, pues son las más contaminantes con diferencia, al suponer la mayor parte de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y de óxidos de nitrógeno (NO_x), así como una parte importante de las partículas en suspensión (Fundación Mapfre, 1994). Entre estas industrias energéticas se encuentra la refinería de petróleo, emplazada en un valle al nivel de los 50 m y con una altura de sus chimeneas de 140 m (Varela Díaz, 1995), y la central térmica de Sabón (Arteixo) que, con una potencia instalada de 470 Mw (decimoctava de España), consume fuel-oil y se emplaza al nivel del mar, con una altura de la chimenea de 200 m. Más alejados de la ciudad, hacia el sureste, se encuentran otra serie de polígonos a lo largo de los municipios metropolitanos (Perillo, O Temple, O Burgo, Alvedro, Bergondo o Piadela –Betanzos–). Y fuera ya del área de influencia directa de la ciudad se encuentran otras dos centrales térmicas, la de Meirama (Cerdeira) hacia el sur, en cuyas proximidades se ubica además una incineradora de residuos sólidos urbanos, y As Pontes hacia el noreste. Las dos se emplazan sobre superficies de aplanamiento al nivel de los 300 m, siendo la altura de las chimeneas, respectivamente, de 200 y 356 m. Hay que destacar el hecho de que la potencia instalada en ambas resulta muy importante, pues si Meirama es la decimocuarta central del estado, con una potencia de 550 Mw, la de As Pontes es la primera, con 1400 Mw. Esta última posee además como única medida anticontaminación la retención de partículas por medio de filtros electrostáticos (con rendimiento del orden del 99%), mientras SO₂, NO_x y otros contaminantes salen a escape libre, por lo que su porcentaje de contaminación por SO₂ en 1992 para toda la península fue del 31,28% (Varela Díaz, 1995).

Finalmente, el puerto es otro importante foco emisor que, con sus actividades de almacenaje, carga y descarga, incide en la acumulación de partículas en suspensión sobre los barrios que lo circundan hacia el suroeste (Castros, Castrillón).

3.2 Dinámica atmosférica regional

Situada a septentrión del paralelo 40, y en el marco de la costa occidental del continente euroasiático, la ciudad de A Coruña se ve afectada por la dinámica atmosférica propia de los climas templados oceánicos de tendencia mediterránea. Esto es, el dominio entre el otoño y la primavera, ambos inclusive (aunque con un máximo protagonismo invernal), de la circulación del oeste, bien sea ésta de carácter polar primario, polar secundario (pudiendo en este caso tratarse de embolsamientos de aire frío en altura, resultado de los estrangulamientos del Jet polar, o de la mayor preponderancia de masas subtropicales), o incluso de naturaleza enteramente subtropical, suponiendo en los tres casos situaciones inestables. Estas, se ven interrumpidas por momentos intermedios de dominio por parte de crestas o anticiclones de bloqueo, que inciden en un marco de estabilidad atmosférica. Mientras, durante el reducido verano domina la circulación del este ligada al anticiclón subtropical de Azores, suponiendo un tiempo estable.

Basándonos en el análisis diario de la serie 1985-97, las masas polares suponen en invierno un porcentaje del 81,3% de las situaciones (del que el 36,9% se corresponde con masas secundarias, en función de la latitud medio-baja de nuestro marco geográfico, señal inequívoca de su carácter de transición hacia lo mediterráneo), mientras que las situaciones plenamente estables constituyen un 14,5% de los casos. En primavera, las situaciones perturbadas polares secundarias suponen un 38,4%, por el 39,3% de las primarias, en tanto que los casos estables son ya un 20,6%. En verano, las situaciones polares primarias suponen un 29,7% de los casos, mientras las plenamente estables suben hasta el 23,4%. El porcentaje alcanzado en esta estación por las situaciones polares secundarias, un 44,1%, puede resultar engañoso, ya que la inestabilización del tiempo a la que inducen es, a la vista del cuadro I, muy relativa. Por lo que al otoño se refiere, las masas polares primarias llegan ya hasta el 39,4% de las situaciones, suponiendo las secundarias un 50,3%, en tanto que las situaciones plenamente estables son sólo el 7,4%.

Desde el punto de vista de la componente, la SO sobre todo, y NO, suponen un mayor porcentaje de casos desde octubre hasta marzo, ambos inclusive, con máximos en diciembre y enero, en tanto que las componentes NE, ante todo, y SE, dominan entre junio y agosto, ambos inclusive, con máximo en julio.

3.3 Factores geográficos

En este apartado, cabe distinguir entre aquéllos de carácter natural, y los debidos a la acción humana.

Entre los primeros cabe destacar el emplazamiento plenamente oceánico del área coruñesa. Desde el punto de vista topográfico, entre el Océano Atlántico y la ría encontramos un sector peninsular con contrastes hacia el norte, aunque sin grandes diferencias de altitud (0 a 66 m), pero más suave hacia el sureste (hasta 22m), y plana

Cuadro I. Situaciones atmosféricas según la masa de aire.
Caracteres invernales y estivales. Fuente: INM (serie 1961-90). Elaboración propia.

SITUACION	TMMx	TMm	PT	DP	IM	RMxV	mb	DGB	DPB
I-P1-invierno	13,6	8,8	4203,4	75,1	2,9	93	1020	41,5	10,7
I-P2-invierno	13,9	9,2	2225,4	54,9	3,1	103	1024	27,7	21,2
I-S-invierno	13,5	8,7	259,9	58,2	2,2	70	1028	27,8	18,9
E-invierno	15	8,1	0,9	0,7	8,7	65	1028	14,5	33,8
I-P1-verano	21	14,9	783,9	69,3	5	67	1016	9,3	15,5
I-P2-verano	22	15,9	501,1	42,1	5,3	73	1020	9,7	12,4
I-S-verano	21,9	16,8	52,6	59,3	3,7	54	1016	0	15,6
E-verano	22,7	15,9	0	0	12,5	61	1020	21,1	8,8

I: inestable, E: estable, P: polar, 1: primaria, 2: secundaria, S: subtropical, TMMx: temperatura media de las máximas (°C), Tm: temperatura media de las mínimas (°C), PT: precipitación total (mm), DP: días de precipitación (%), IM: insolación media diaria (horas de sol), RMxV: racha máxima del viento (km/h), mb: milibares (moda), DGB: días con fuerte gradiente barométrico (%), DPB: días de pantano barométrico (%).

en el istmo (hasta 7 m), entre la Bahía y la Ensenada del Orzán. Hacia el interior, se suceden pequeños valles o depresiones de fondo plano (Elviña –13 m–, A Grela –33 m–) y áreas elevadas en sucesivos escalones hacia el sur (144 m en el Monte de San Pedro, 242 m en el Monticaño o 289 m en los Montes da Zapateira), consecuencia de la tectonización del macizo granodiorítico sobre el que se asienta la ciudad.

La vegetación de porte arbóreo resulta escasa en el área inmediata al casco urbano, presentando sólo hacia el interior las partes más altas una ocupación de eucalipto en alternancia con matorral atlántico, mientras que las partes bajas se hallan ocupadas por cultivos.

Con respecto a la impronta humana, las distintas etapas históricas, y en especial los años 60 y 70, han dejado la herencia de una morfología urbana sumamente densa, con dominio de tipos de plano irregulares de manzanas cerradas, calles interiores de los barrios estrechas y con el mayor índice de construcción en altura de las ciudades gallegas (Precedo Ledo, 1990). Ello repercute en elevadas densidades constructiva y residencial en las áreas centrales (ensanches, con 200 a 300 viviendas/ha o 600 a 700 habitantes/ha –elaboración propia–), y sobre todo, en algunos barrios residenciales periféricos a aquéllas, como el Agra del Orzán, en uno de cuyos márgenes se ubica la estación urbana densa, y con más de 300 viviendas/ha o más de 1000 habitantes/ha. Las densidades se rebajan sin embargo muy significativamente en los barrios más periféricos, al tratarse de una morfología de polígonos de viviendas (Elviña, donde se ubica la estación urbana laxa, con 50 a 100 viviendas/ha o 100 a 199 habitantes /ha), que contrasta muy notoriamente con la de manzanas cerradas de los sectores anteriormente dichos.

4. Niveles de inmisión

4.1 Hipótesis inicial

Teniendo en cuenta la tipología de los focos emisores, debemos suponer para empezar unas perspectivas poco halagüeñas al respecto de los niveles de contaminación atmosférica alcanzados en A Coruña, ante lo elevado del parque móvil y el carácter energético y de base de las instalaciones industriales más destacables de la ciudad. Además, la ubicación de algunas de esas industrias, de modo contiguo por el suroeste al casco urbano, puede favorecer el transporte hasta éste, y por medio de aquella componente atmosférica, de los contaminantes.

Y es que el flujo suroeste supone el 27,3% de las situaciones anuales, porcentaje que sube hasta el 38,6% en la estación invernal, en la que se erige en la componente más habitual. En primavera y verano, su importancia se rebaja considerablemente, hasta un 22,2 y un 12,3%, respectivamente, pero de nuevo cobra protagonismo en el otoño con un 29,3% de los casos. Hay que tener en cuenta, por otro lado, que con la componente suroeste cobran protagonismo los fuertes vientos (porcentaje de días con fuerte gradiente barométrico), protagonistas del transporte de las sustancias perjudiciales para la calidad ambiental (cuadro II).

Los condicionantes geográficos también benefician el transporte de sustancias por el aire desde los núcleos industriales del suroeste urbano, puesto que la altura de algunos de los efluentes (refinería, 50 + 140 m), sobrepasa la de las barreras orográficas que separan aquéllos de la ciudad (150 m). Sin embargo, con todo este conjunto de condiciones idóneas para el transporte de contaminantes hasta el casco urbano, es necesario tener en cuenta el emplazamiento de tipo peninsular de la ciudad. Y es que la presencia del océano y de la ría bordeándola, inciden en la no existencia de obstáculos físicos que, una vez llegados los contaminantes desde los núcleos industriales, impidan la dispersión de las sustancias contenidas en el aire, esto es, que incidieran en su caso en el estancamiento de las mismas sobre la ciudad.

Cuadro II. Situaciones atmosféricas según la componente.
Caracteres anuales. Fuente: INM (serie 1961-90). Elaboración propia.

SITUACION	TMMx	Tmm	PT	DP	IM	RMxV	mb	DGB	DPB
NE	17,2	11,7	1335,4	28,1	5,3	92	1020	17,3	15,7
SE	20,3	12,7	278,5	15,2	6,7	89	1020	14	29
SO	19,2	13,5	5259,4	63,1	4,6	88	1016	30,5	19,6
NO	16,8	11,8	5379,9	83,5	4,2	103	1020	24,9	11,9

TMMx: temperatura media de las máximas (°C), Tm: temperatura media de las mínimas (°C), PT: precipitación total (mm), DP: días de precipitación (%), IM: insolación media diaria (horas de sol), RMxV: racha máxima del viento (km/h), mb: milibares (moda), DGB: días con fuerte gradiente barométrico (%), DPB: días de pantanto barométrico (%).

Además, por otro lado, la componente nororiental, tan dominante en el total anual (32,8% de los casos), pero sobre todo en la franja central del año (57% en verano –en que se asocia con fuertes brisas–, 33,2% en primavera o 32,8% en otoño), y al contrario que la componente suroeste, aleja las sustancias contaminantes de la ciudad en el sentido suroccidental. Sólo en los casos de plena estabilidad atmosférica se favorecería el estancamiento sobre el casco urbano de los contaminantes, sobre todo, de aquéllos emitidos en la propia ciudad (tráfico rodado), y que los descritos condicionantes de densidad urbana ayudan a retener. Este tipo de situaciones atmosféricas sólo alcanzan representatividad destacable en la franja central del año (23,4% de los casos estivales y 20,6% en primavera, por un 7,4% tan sólo en otoño y un 14,5% en invierno).

En definitiva, que la conjunción de los distintos factores naturales (emplazamiento y dinámica atmosférica), pueden aminorar de modo considerable las, *a priori*, malas condiciones debidas al influjo humano de cara al nivel de inmisión de contaminantes en el área de A Coruña.

4.2 Resultados obtenidos

Entre los contaminantes analizados, los que presentan unos niveles de inmisión mayores, y que en algún momento sobrepasan los límites legales establecidos o se aproximan a ellos, son: dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3) y partículas en suspensión (PST), no presentando los restantes niveles altos, de ahí que de ellos no se haga mención, centrándose aquí el análisis en los cuatro citados.

Dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO_2)

En la estación urbana densa, el nivel de inmisión medio anual es, para el quinquenio de estudio, de $21,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor alejado del límite legal establecido ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ –MOPT, 1993–). Por estaciones (figura 1), el invierno es la época del año en que el valor medio resulta superior, aunque sin alcanzar tampoco los límites permitidos ($23,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el verano es la estación que presenta el nivel más bajo, y con diferencia ($15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ello se debe al tipo de circulación atmosférica dominante en cada época del año, pues en invierno predomina la componente SO, mientras en verano lo hace la NE. Y es aquélla la que resulta acorde con la dirección que la refinería de petróleo y algunos de los polígonos industriales referidos anteriormente (A Grela-Bens), poseen con respecto a la ciudad. Todo lo contrario ocurre con el NE. Es, efectivamente, la componente SO la que protagoniza los mayores niveles del contaminante ($27,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ –figura 2–), seguida de la NO, protagonistas ambas de la circulación del oeste dominante entre el otoño y la primavera, mientras que el NE resulta la componente menos propicia para el transporte del contaminante desde los focos emisores hasta la ciudad (media anual de $14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

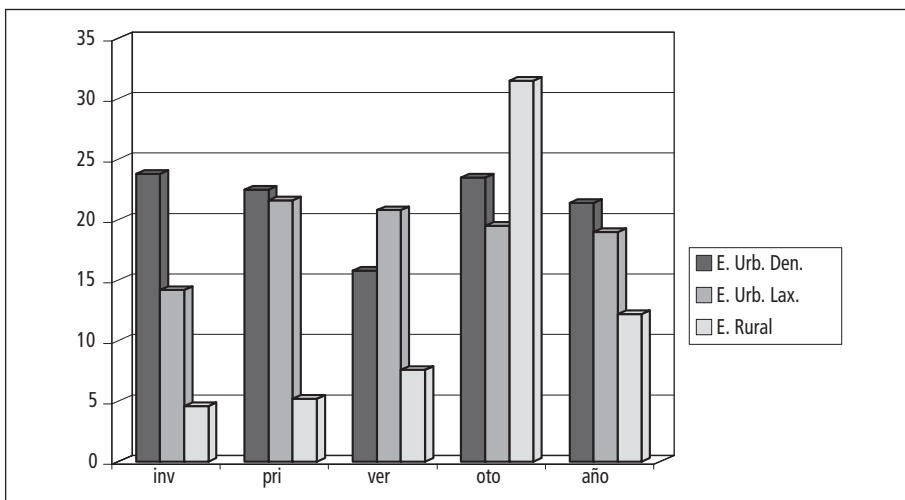


Figura 1. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) estacionales y anuales para dióxido de azufre (SO_2). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

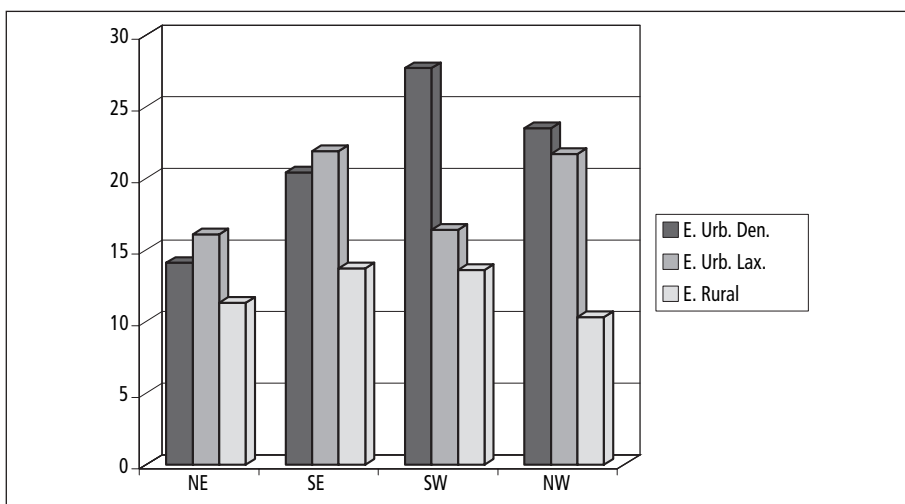


Figura 2. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según las situaciones sinópticas para dióxido de azufre (SO_2). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

Los niveles de las correlación de Pearson, nos ofrecen un nivel medio-alto entre el nivel de inmisión del contaminante y la componente (0,624), obsérvese, de carácter directo, esto es, que a medida que aumentamos el número del cuadrante (1, NE; 2, SE; 3, SO; 4, NO), aumenta el nivel de inmisión por SO_2 .

Si, además, agrupamos las situaciones atmosféricas por su carácter de fuerte gradiente barométrico (se han tomado como tales en los mapas de isobaras aquéllas en las que el espacio sinóptico galaico es atravesado por, al menos, dos de estas isolíneas), o de pantano barométrico (tomándose como tales aquellas situaciones en las que ninguna isobara cruce el cuadrante noroccidental peninsular), son las primeras las más favorables para la concentración del contaminante (cuadros III al VI), en caso de componente occidental, pues favorecen en mayor medida el transporte. Aún así, si el gradiente es demasiado fuerte podría provocar una dispersión de las sustancias demasiado rápida, como puede desprenderse del hecho de que las situaciones atmosféricas con menor presión sobre nosotros no son, ni mucho menos, las que inciden en las mayores concentraciones de la sustancia, siendo las intermedias al respecto las que benefician un mayor nivel de inmisión. De hecho, el nivel de correlación mostrado por la intensidad del viento es de 0,384, de carácter directo, pero sólo de nivel medio-bajo.

Cuadro III y IV. Niveles de inmisión medios de SO₂ y NO₂ (en µg/m³) según variables meteorológicas. Comparación entre estaciones. Fuente: Xunta de Galicia. Elaboración propia.

SO ₂		PB*	GB*	<1000 mb	1000-1004 mb	1008-1012 mb	1016-1020 mb	1024-1028 mb	≥1032 mb
NE	E. urbana densa	15,9	11,4	22,3	11,5	13,4	14,4	13,8	14,2
	E. urbana laxa	15,6	14,2	12,8	8,8	14,4	17,3	14,7	21,2
	Estación rural	11,6	9,5	5	6	5,6	8,8	12,8	27,1
SE	E. urbana densa	21,9	22,6		26,5	18,2	22	18,6	18,3
	E. urbana laxa	24,1	29		8,1	18,2	22,2	21,3	15,4
	Estación rural	17,1	22,5		2	7,3	12,3	12,7	2
SO	E. urbana densa	20,5	32,1	15,4	31,9	27,5	26,4	29,4	21
	E. urbana laxa	18,8	11,6	8,8	10,5	15,3	15	23,2	13,5
	Estación rural	13,7	10,6	16,2	13,5	12,7	13,4	14,1	4,9
NO	E. urbana densa	20	33,8	20,9	47,5	21,5	23,5	20,9	47,5
	E. urbana laxa	19,2	19,8	7,3	20,1	21,6	22,9	26,1	17,7
	Estación rural	23,7	13	4	11,3	8	12,5	14	2,2

NO ₂		PB*	GB*	<1000 mb	1000-1004 mb	1008-1012 mb	1016-1020 mb	1024-1028 mb	≥1032 mb
NE	E. urbana densa	57,4	40,9	82,4	40,5	49,7	52,6	50,6	47,4
	E. urbana laxa	15,8	11,1	21,8	11,6	14,1	14,2	12,7	14,9
SE	E. urbana densa	69,7	51,1		54,1	77,8	75,6	68,1	64,5
	E. urbana laxa	19	16,3		10,4	18,1	17,7	16,7	25,1
SO	E. urbana densa	58,6	36,3	35,2	48,7	51,2	49,1	52,8	58,7
	E. urbana laxa	15,9	12,3	12,1	11,6	13,6	14,9	16,1	28,3
NO	E. urbana densa	50,1	28,9	33,1	32,1	38,7	41,1	55,9	29,6
	E. urbana laxa	14,1	13,6	16,2	12,5	14,9	14,1	14,9	13,6

A pesar de lo expuesto sobre la estación urbana densa, la idea de calidad del aire que, en general, pudiera derivarse de todo ello, se torna sin embargo no idónea en casos diarios puntuales, en los que se sobrepasan los valores medios establecidos por ley. Así, el valor guía de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media diaria, se superó, en el quinquenio analizado, en 6 ocasiones (nivel máximo de $223,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 8 de septiembre de 1993).

En la estación urbana laxa, el nivel de inmisión medio anual, de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es inferior al presentado por la urbana densa, lo que puede estar en clara relación con el carácter más abierto de la morfología urbana del sector. Estacionalmente ocurre ahora lo contrario a lo visto en la estación urbana densa, ya que en el presente caso el invierno es la época del año que presenta unos niveles medios de inmisión menores ($14,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que la parte central del año es la que registra valores mayores ($21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en primavera y $20,8$ en verano).

Nuevamente el tipo de circulación dominante en cada época del año, en relación con la distinta ubicación de los observatorios con respecto a los focos emisores, son los factores responsables. La componente NO es ahora la más favorable para el transporte de la sustancia desde la refinería y polígonos industriales del suroeste urbano, hasta la estación que ahora nos ocupa. Y esta componente resulta más frecuente que la suroccidental en primavera y verano. La componente SE, por su parte, resulta asimismo muy propicia para la acumulación de SO_2 procedente de la refinería y polígono de A Grela-Bens, sobre la estación urbana laxa, debido a la cercanía entre ésta y aquellos focos emisores, con lo que la estabilidad atmosférica de tales situaciones beneficia el estancamiento del contaminante sobre el lugar de emisión y sus cercanías. Esto viene corroborado por el hecho de que, en general, las situaciones de pantano barométrico son las que propician mayores niveles de inmisión sobre el área, al revés que en la estación urbana densa, en que se trataba de los tipos con fuerte gradiente barométrico. En verano, sin embargo, y a pesar de la importante estabilidad atmosférica de las situaciones del SE, el acentuado régimen de brisas podría acercar contaminantes desde los polígonos situados al sureste de la ciudad. Por el contrario, como en la estación urbana densa, las situaciones del NE siguen siendo el tipo sinóptico más favorable para el alejamiento del contaminante.

La calidad del aire es, en definitiva, mayor en esta estación urbana laxa, no dándose en ella ningún caso diario que supere el límite legal establecido, ni de lejos, pues el caso de mayor nivel fue el del día 24 de abril de 1994, con $81,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mientras, en la estación rural los niveles son aún inferiores, con una media anual de $12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La importancia del viento a lo largo del año en el área coruñesa, incide de modo positivo en la aireación de un área cercana como ésta a los focos emisores, si bien pueden darse episodios concretos con importantes niveles de inmisión. Así, el día 30 de septiembre de 1996, en que se alcanzaron $146 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque en ningún caso se superó el límite legal establecido. Las situaciones atmosféricas de pantano baro-

métrico o con niveles de presión medio-alta, son las que más favorecen la permanencia de los contaminantes sobre el lugar de emisión, sin ser en este caso la componente determinante. En todo caso, hay que tener en cuenta las mencionadas lagunas presentadas en la serie estudiada, con lo que los resultados no pueden, de este modo, ser tomados con toda fiabilidad. Aún así, y dadas las condiciones atmosféricas de escasez de situaciones plenamente estables que favorezcan la existencia de pantanos barométricos, y al contrario, la importancia del régimen de vientos del oeste en invierno o de las brisas estivales, hacen bastante asimilable el hecho de la menor contaminación por SO_2 de la estación rural.

Dióxido de nitrógeno (NO_2)

En la estación urbana densa, el panorama se presenta menos halagüeño que con el SO_2 en cuanto a los niveles anuales y estacionales, hasta el punto de que ya con los primeros se presentan problemas. La época del año con mayores niveles de inmisión por NO_2 es el verano (figura 3), en función del dominio que en tal estación poseen las situaciones atmosféricas estables (NE y SE), las cuales se erigen en las mayormente inductoras a altos niveles de contaminación por NO_2 (figura 4). Uno de los valores anuales cuyo límite legal se ve sobrepasado es el de la mediana, que en el período de estudio fue de $57,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1993, $54,3$ en 1995 y 55 en 1996, cuando el límite es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El problema que este contaminante presenta en nuestra ciudad es, pues, grave, habida cuenta de lo referido sobre lo desmesurado del parque móvil y sobre la morfología urbana de calles estrechas y construcción en altura.

Los niveles de correlación obtenidos entre los niveles de inmisión del contaminante y distintas variables meteorológicas y sinópticas (viento, gradiente térmico vertical, presión y componente), son en general bajos, alcanzándose sólo un nivel medio-bajo en el caso del viento ($-0,448$). Sin embargo, el hecho de que sea de carácter inverso, como en el caso de la componente ($-0,211$), nos habla de la importancia que cobran las situaciones estables de carácter continentalizado en la ocurrencia de altos niveles en la atmósfera de esta sustancia. Efectivamente, las situaciones de pantano barométrico y con niveles de presión atmosférica medio-altos, son las que acumulan mayores niveles de inmisión.

El nivel más alto alcanzado en el período de estudio fue el día 23 de julio de 1993, con $425 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sobre esto, hay que decir que el nivel legislado de cara a la declaración de emergencia de primer grado, es de $565 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Xunta de Galicia, 1997). La diferencia no es, desde luego, abismal, al contrario, preocupante cuando menos. Una mala concienciación ciudadana al respecto, deducible al menos de las malas prácticas diarias, así como una deficiente, o más que esto, despreocupada actuación de los poderes públicos al respecto (falta de zonas verdes, áreas peatonales libres del tráfico o política de transporte metropolitano), son el origen de la problemática que se nos avecina.

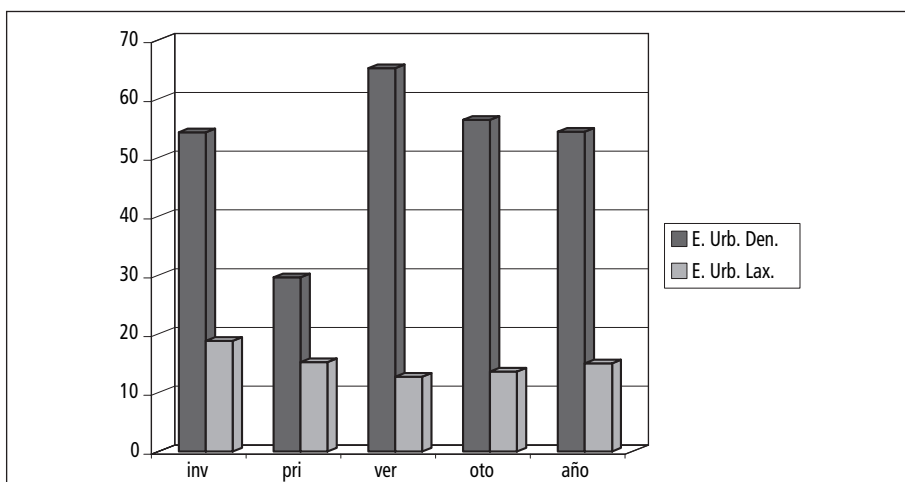


Figura 3. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) estacionales y anuales para dióxido de nitrógeno (NO_2). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

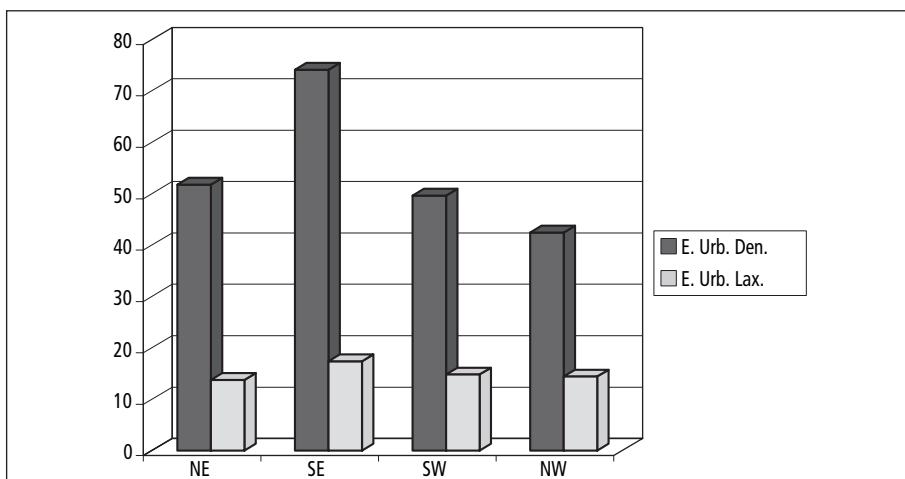


Figura 4. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según las situaciones sinópticas para dióxido de nitrógeno (NO_2). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

En la estación urbana laxa, como ya ocurría con el SO_2 , los niveles de inmisión son decididamente menores a los de la urbana densa. Y ello, a pesar de que, y en relación con la típica fuente emisora de este contaminante, el tráfico rodado, nos hallamos aquí cerca de la gran arteria de entrada y salida de la ciudad, la Avenida Alcalde Alfonso Molina. Pero el contexto morfológico de laxitud que muestra el polígono de Elviña, que aquella atraviesa, favorece la dispersión del contaminante, pues di-

cha morfología beneficia la acción del viento. Al contrario que en la estación urbana densa, aquí la época del año con mayores niveles de inmisión es el invierno, ya que, y dado que la estabilidad atmosférica sigue marcando la pauta de las mayores concentraciones de esta sustancia, en esta parte interior de la ciudad (área deprimida -13 m-, rodeada de montañas -hasta 150 m-, y aislada por lo tanto del océano, excepto por el NE, por donde se abre a la ría), las masas de aire frío se ven favorecidas en su instalación sobre el sector, las cuales, por su peso, propician el estancamiento de los contaminantes. A propósito de la componente NE, y dada esa apertura a su influencia del área, los niveles de contaminación son en la presente estación menores, con este tipo de situaciones, con respecto a la estación urbana densa. Ésta, también se halla bien expuesta a dicha componente, pero a diferencia de la urbana laxa, tiene detrás de sí a un barrio muy denso, el Agra del Orzán, que ayuda a retener el contaminante sobre esa parte de la ciudad. En el caso de la estación urbana laxa, ni los valores anuales ni los diarios presentan, pues, problemas, habiendo sido el máximo nivel alcanzado el del 24 de noviembre de 1996, con $43,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ozono (O_3)

En la estación urbana densa, y debido al origen fotoquímico de esta sustancia, los mayores niveles de inmisión en el marco anual tienen lugar cuando más horas de luz al día se dan, esto es, en primavera y verano (figura 5). Como en el caso del NO_2 , los niveles de concentración del ozono son preocupantes, ya que si por ley se establece un valor medio en 8 horas de hasta $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de cara a la protección de la salud humana, y teniendo en cuenta que el valor medio legislado se reduce conforme se aumenta el plazo, son varios los casos en los que en 24 horas se ha superado dicho nivel (máximo de $133,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 19 de mayo de 1996). Comparemos esta cifra con el umbral establecido para la vegetación, de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas, o con el umbral de información a la población, de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O sea, que también en este caso el problema resulta inquietante. En el análisis sinóptico, son las situaciones norteadas (NE -figura 6-) las que cobran especial protagonismo en los niveles más altos mostrados por este contaminante, y cuanto mayor sea el gradiente barométrico, lo que se relaciona con la importancia de las situaciones con intervalos de presión medio-bajos, o la correlación entre los niveles de inmisión por O_3 y la última variable meteorológica sea, de carácter medio-alto y de carácter inverso (-0,678). Con respecto al viento, la correlación, aunque de nivel medio-bajo (0,358), es de carácter directo, lo que apoya la importancia del gradiente barométrico en la acumulación de O_3 .

En la estación urbana laxa, por su parte, contamos de nuevo con un condicionante negativo que limita la fiabilidad del estudio: no contamos con datos invernales del contaminante. Pero como quiera que en la estación urbana densa era tal estación astronómica la que registraba los niveles de inmisión más bajos, y que la presente

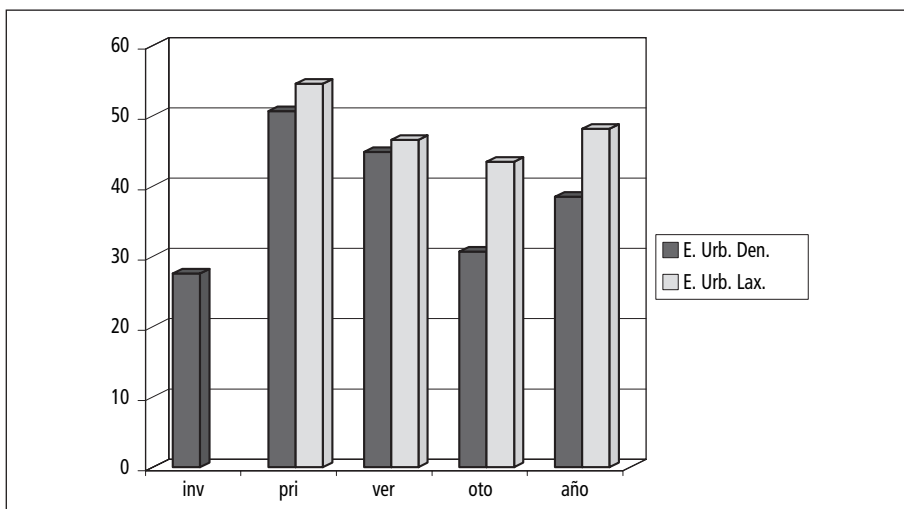


Figura 5. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) estacionales y anuales para ozono (O_3). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

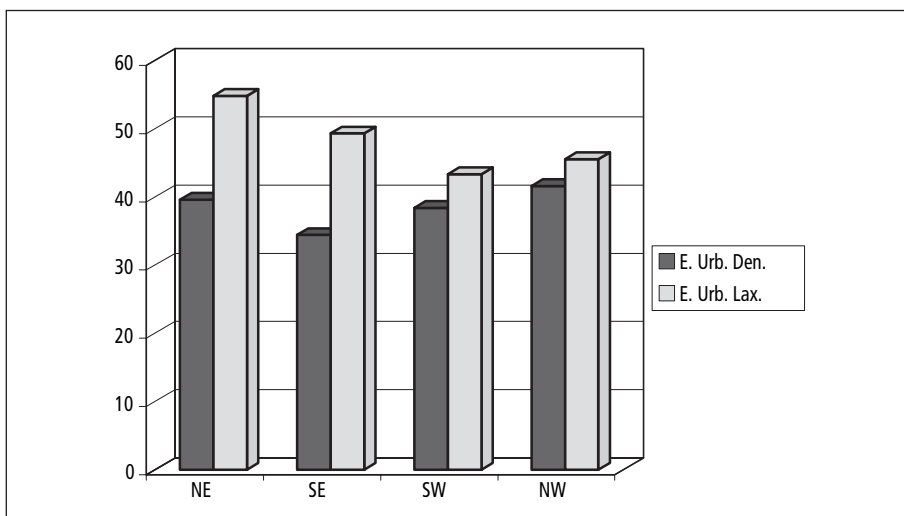


Figura 6. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según las situaciones sinópticas para ozono (O_3). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

estación urbana laxa sigue bastante fielmente el esquema estacional el observatorio urbano denso, pues son la primavera, primero, y el verano después, las estaciones astronómicas con mayores registros de O_3 , puede con ello suponerse para el invierno en la presente estación un comportamiento también similar. Pero lo verdaderamente

relevante ahora, es que si con el SO_2 y el NO_2 era la estación urbana densa la que mostraba los mayores niveles de contaminación, en el presente caso es esta estación urbana laxa la más destacada. Y es que si el ozono está más presente, en función de su origen, con mayores cantidades de luz, la morfología abierta del polígono de Elviña y la topografía plana del sector, favorecen tal factor, mientras que en la estación urbana densa el relieve y la densidad constructiva del contiguo, por el sur, barrio del Agra del Orzán, contribuyen a ocultar el sol, cuando menos, de la mañana. Claro que los mayores registros de la estación urbana laxa se refieren a las medias anuales y estacionales, no siendo así en los registros extremos diarios ($87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 3 de abril de 1997). Ello puede ser debido a que la estación urbana densa, aunque sombreada por la mañana, se halla bien expuesta a los rayos solares de la tarde, especialmente intensos precisamente en primavera y verano. Como en la estación urbana densa, siguen destacando, eso sí, las situaciones norteadas y las de gradiente barométrico en mayor o menor medida intenso, y ligadas a éstas, las de intervalos de presión medio-bajos.

Partículas en suspensión (PST)

En la estación urbana densa, todos los valores medios anuales y estacionales (figura 7) se encuentran por debajo de los límites exigidos por ley. Incluso en las inmisiones medias diarias no se suele sobrepasar el límite legal, de 150 a $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas, lo cual no se debe de sobrepasar en más de 7 ocasiones al año (Elsom, 1990). El mayor valor registrado fue de $167,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 5 de marzo de 1997. Por situaciones atmosféricas (figura 8), los mayores niveles alcanzados por este contaminante tienen lugar con tipologías estables, en cualquiera de las estaciones del año, pues el nulo flujo característico de la mayor parte de aquéllas, no contribuye a alejar las partículas del espacio aéreo herculino. Y ello ocurre sobre todo en el período otoño-invierno, cuando los anticiclones son más potentes, ante el refuerzo que para su presión suponen las masas frías de tal época, lo que empuja a los contaminantes hacia el suelo, impidiéndose la ventilación. En primavera-verano, sin embargo, ante un régimen de brisas más intenso, aún en situación estable, los niveles son menores. En este sentido, la importancia de la intensidad del flujo se ve corroborado por un nivel de correlación del nivel de inmisión por PST con el viento de -0,669, de nivel medio-alto por lo tanto, y observemos, de carácter inverso, es decir, que a medida que aumenta el nivel de éste, disminuye aquél. También con el factor presión se alcanza un nivel de correlación destacable (0,648), de carácter directo en este caso, pues al aumentar aquél, aumenta también el nivel de contaminación. Efectivamente, esto se confirma con el hecho de que las situaciones atmosféricas de pantano barométrico, y aquéllas con intervalos de presión altos, son las que acumulan mayores niveles de partículas en suspensión en el aire, sobre todo en invierno, pues en verano las presiones altas son poco habituales ante la falta de reforzamiento por parte de las masas continentales frías.

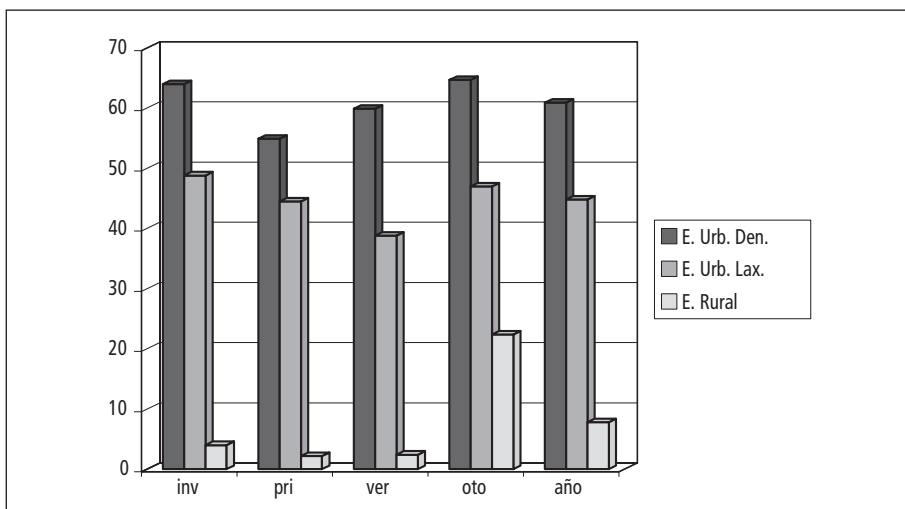


Figura 7. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) estacionales y anuales para partículas en suspensión (PST). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

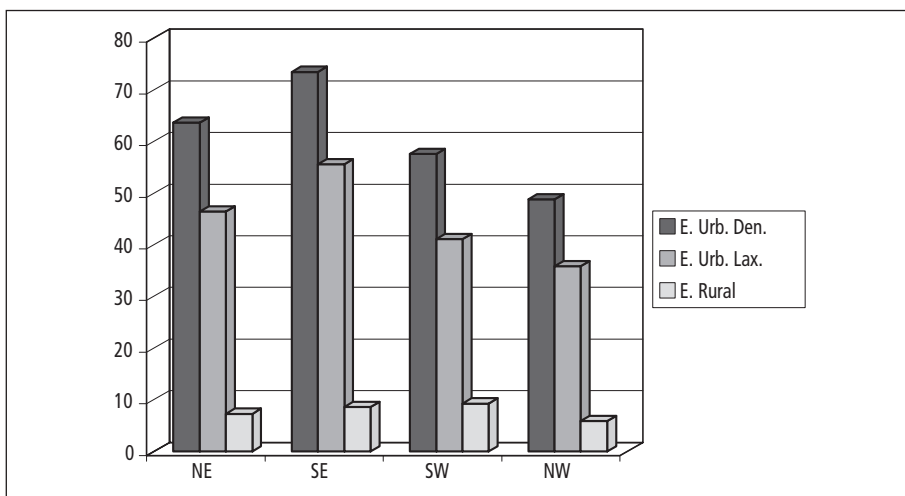


Figura 8. Niveles de inmisión medios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según las situaciones sinópticas para partículas en suspensión (PST). Comparación entre estaciones. Fuente: Consellería de Sanidade. Elaboración propia.

En la estación urbana laxa, de modo casi invariable (a excepción del O_3 , y no siempre), los registros de contaminación siguen siendo ahora menores que en la urbana densa, en cualquier estación astronómica y con cualquier situación atmosférica. Como en la estación urbana densa, es el otoño-invierno el período en que se registran los mayores niveles de inmisión, en función de los mencionados anticiclones subtropicales

continentalizados, estabilizadores de la situación vertical de la atmósfera, reteniendo entonces los contaminantes junto al suelo. Sólo en los casos diarios nos acercamos en alguna ocasión al límite legislado, así, el 7 de marzo de 1997, con $141,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Y finalmente, en la estación rural, los niveles no llegan a alcanzar los registrados por las estaciones urbanas, distando mucho de los valores establecidos por ley. Así, el mayor nivel de inmisión registrado fue de $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el 31 de octubre de 1995. Como en las otras dos estaciones, las situaciones de pantano barométrico y con altos niveles de presión, son las que más favorecen la concentración de partículas en el aire.

5. Conclusiones

En definitiva, son los factores naturales, importancia del viento y de las brisas en las situaciones sinópticas más frecuentes o emplazamiento peninsular/oceánico que incide en la falta de obstáculos para aquéllos, los que salvan a la ciudad de A Coruña de unos niveles importantes de contaminación atmosférica. Las condiciones de gran densidad morfológica de la ciudad y el tipo de actividades industriales (de base), así como la ubicación de éstas con respecto al casco urbano, resultan muy poco adecuadas.

Óxidos de nitrógeno (NO_2) y ozono (O_3) son los contaminantes que presentan una mayor problemática, en las áreas densas de la ciudad los primeros, en las de mayor laxitud morfológica el segundo. Ambos presentan sus mayores niveles en la época central del año, con situaciones estables los primeros, y con situaciones norteadas y de fuerte gradiente barométrico el segundo.

El dióxido de azufre (SO_2) y las partículas en suspensión (PST), no presentan la problemática de las dos anteriores sustancias, aunque en casos diarios concretos, sobre todo en el caso del SO_2 , se pueden llegar a sobrepasar los límites legales. En ambos casos, los lugares más afectados son los de mayor densidad, aunque en el primer caso son las situaciones inestables del suroeste con niveles de presión medio-bajos, más abundantes en invierno, los que inducen a un mayor nivel de inmisión; mientras que para el caso de las partículas se trataría de situaciones invernales también, pero estables.

Bibliografía

- Albentosa, L. (1980): "Contaminación y cambio de clima en las regiones urbanas industrializadas". *Tarraco*, I, pp. 11-37.
- Ascaso, A. (1969): "Contaminación y contaminadores atmosféricos. El problema de Zaragoza". *Las Ciencias*, 1, pp. 22-34.
- Berlincourt, P. (1991): "Les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne". In Wanner, Biel, *Klima und luftverschmutzung einer schweizer stadt*, pp.27-72. Editions Paul Haupt, Bern, Stuttgart.

- Bland, W. (1974): "Seasonal variations in air pollution in Los Angeles Country". *The Profes. Geographer*, pp. 277-282.
- Clavero Paricio, P.L. (1990): "La estabilidad atmosférica como factor de contaminación del aire: otoño de 1985 en Barcelona". *Revista de Geografía*, nº 24, pp.17-26, Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Elsom, D. (1990): *La contaminación atmosférica*. Cátedra, Madrid.
- Fernández García, F. (2001): "Clima y calidad ambiental en las ciudades. Propuesta metodológica y su aplicación en el área de Madrid". En Raso y Martín (eds.): *Proyectos y métodos actuales en Climatología*. AEC, Serie B, nº 1, Barcelona.
- Fernández, F.; Galán, E. (1993): "Avance de un modelo de distribución espacial de la contaminación en Madrid". *XIII Congreso Nacional de Geografía*, Sevilla.
- Fernández, F.; Galán, E. (1995): "Episodios de elevada contaminación en Madrid". En Creus, P. *Situaciones de riesgo climático en España*, pp. 171-186, Instituto Pirenaico de Ecología, Jaca.
- Fernández, F.; Rasilla, D. (1999): "Concentraciones de ozono y tipos de tiempo en el área metropolitana de Madrid". En: *Actas del VIII Coloquio Ibérico de Geografía*, vol. 1, pp. 31-36, Univ. Nova de Lisboa, Lisboa.
- Horcas, R.; Nájera, I. (1998): "Influencia de las condiciones atmosféricas en la dispersión de contaminantes". En: *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*, pp. 495-507, Edit. Parteluz, Madrid.
- López, A.; Fernández, F. (1981): "La contaminación atmosférica en Madrid". *Estudios de Geografía urbana*, Inst. Juan Sebastián Elcano, pp. 72-100, Madrid.
- López Bonillo, D (1992): "Factores de la contaminación atmosférica en Tarragona". *Tarraco, Cuadernos de Geografía*, vol. 7, pp. 31-43.
- Mapfre, Fundación (1994): *Manual de contaminación ambiental*. Itsemap ambiental, Madrid.
- Marzol Jaén, M.V. (1987): "La contaminación atmosférica en Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias". *Finisterra*, Centro de Estudos Universitários, vol. XXII, nº 43, pp. 162-181, Lisboa.
- Miragaya Veras, A. (2003): *Medio ambiente urbano en A Coruña. El papel de la dinámica atmosférica y de los factores locales*. Tesis doctoral, Departamento de Xeografía, Universidade de Santiago de Compostela.
- Raso Nadal, J.M. (1982): "Tiempo y contaminación en Tarragona". *Tarraco*, nº 1, pp. 83-104.
- Seoánez Calvo, M. (2002): *Tratado de contaminación atmosférica*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Varela Díaz, R. (1995): "Contaminación atmosférica. As centrais térmicas. A chuvia ácida". Bahía Edicións, A Coruña